

# PCT

**WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM**  
Internationales Büro

INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

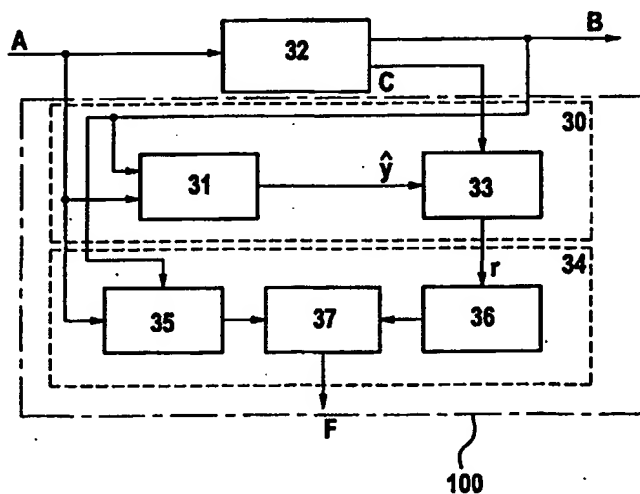
(51) Internationale Patentklassifikation 7 : B60T 8/00, G05B 9/02		A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 00/46087
			(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 10. August 2000 (10.08.00)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP00/00538		(81) Bestimmungsstaaten: CN, JP, KR, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).	
(22) Internationales Anmeldedatum: 25. Januar 2000 (25.01.00)			
(30) Prioritätsdaten:		Veröffentlicht	
199 03 934.8	1. Februar 1999 (01.02.99)	DE	Mit internationalem Recherchenbericht.
199 29 155.1	25. Juni 1999 (25.06.99)	DE	
199 39 872.0	24. August 1999 (24.08.99)	DE	
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): CONTI- NENTAL TEVES AG & CO. OHG [DE/DE]; Guericke- strasse 7, D-60488 Frankfurt am Main (DE).			
(72) Erfinder; und			
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): DING, Eve, Limin [DE/DE]; Hörlitzerstrasse 11, D-01968 Senftenberg (DE).			
(74) Gemeinsamer Vertreter: CONTINENTAL TEVES AG & CO. OHG; Guerickestrasse 7, D-60488 Frankfurt am Main (DE).			

**(54) Title:** METHOD AND DEVICE FOR SENSOR MONITORING, ESPECIALLY FOR AN ESP SYSTEM FOR MOTOR VEHICLES

**(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR SENSORÜBERWACHUNG, INSBESONDERE FÜR EIN ESP-SYSTEM FÜR FAHRZEUGE**

**(57) Abstract**

The invention relates to a method and device for sensor monitoring, whereby said sensors detect individual management variables or measured variables (A, B, C) relating to a process (32). The inventive method and device are suitable for use with an electronic stability program (ESP) for a motor vehicle. A particularly high degree of reliability can be attained by monitoring the characteristics of the output signals of the sensors in a cyclical and sequential manner, whereby analytical redundancies are produced for a normal operational mode with the aid of a multiprocess model (31) on the basis of process management and measured variables (A, B) that are not monitored in real time, whereupon said redundancies are used along with the output signal that is to be monitored in real time in order to form (33) a residuum. An error signal (F) is produced if the residuum attains a threshold value once the residuum has been evaluated (36) and compared to said threshold value (35).



**(57) Zusammenfassung**

Es wird ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Überwachung von Sensoren, die jeweils einzelne Prozeßführungs- oder Prozeßmeßgrößen (A, B, C) eines Prozesses (32) erfassen, beschrieben, das/die insbesondere für ein elektronisches Stabilitätsprogramm (ESP) für Fahrzeuge geeignet ist. Eine besonders hohe Zuverlässigkeit wird durch eine zyklischsequentielle Überwachung des Verlaufes der Ausgangssignale der einzelnen Sensoren erreicht, indem aus aktuell nicht zu überwachenden Prozeßführungs- und Prozeßmeßgrößen (A, B) mit Hilfe eines Mehrfachprozeßmodells (31) für einen Normalbetrieb analytische Redundanzen erzeugt werden, aus denen mit dem aktuell zu überwachenden Ausgangssignal ein Residuum gebildet (33) wird. Nach Auswertung des Residuums (36) und Vergleich mit einem Schwellwert (35) wird ein Fehlersignal (F) erzeugt, wenn das Residuum den Schwellwert erreicht.

**LEDIGLICH ZUR INFORMATION**

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauritanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

## **Verfahren und Vorrichtung zur Sensorüberwachung insbesondere für ein ESP-System für Fahrzeuge**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Überwachung von Sensoren, die jeweils einzelne Prozeßführungs- oder Prozeßmeßgrößen eines Prozesses erfassen, insbesondere für ein elektronisches Stabilitätsprogramm (ESP) für Fahrzeuge.

Elektronische Stabilitätsprogramme dieser Art sind fahrdynamische Regelsysteme für Fahrzeuge, die dazu dienen, den Fahrer in kritischen Fahrsituationen während des Bremsens, Beschleunigens und Lenkens zu unterstützen und dort einzugreifen, wo der Fahrer selbst keine direkte Eingriffsmöglichkeit hat. Das Regelsystem unterstützt den Fahrer beim Bremsen, insbesondere auf einer Fahrbahn mit niedrigem oder wechselndem Reibwert, auf der das Fahrzeug wegen blockierender Räder nicht mehr steuerbar sein oder ins Schleudern geraten könnte, ferner beim Beschleunigen, wobei die Gefahr des Durchdrehens der Antriebsräder besteht, sowie schließlich beim Lenken in einer Kurve, in der das Fahrzeug über- oder untersteuern könnte. Insgesamt wird damit nicht nur der Komfort, sondern auch die aktive Sicherheit wesentlich verbessert.

Einem solchen Regelsystem liegt ein geschlossener Regelkreis zugrunde, der im Normalbetrieb des Fahrzeugs typische

- 2 -

Regelaufgaben übernimmt und in extremen Fahrsituationen das Fahrzeug so schnell wie möglich abfangen soll. Als Istwertgeber sind dabei Sensoren zur Erfassung der verschiedenen fahrdynamischen Parameter von besonderer Bedeutung. Eine plausible Regelung setzt voraus, daß die Sensoren den Istzustand der Regelstrecke korrekt wiedergeben. Dies ist bei Fahrstabilitätsregelungen in extremen Fahrsituationen, in denen eine Regelabweichung schon innerhalb einer sehr kurzen Zeit ausgeregelt werden muß, besonders wichtig. Aus diesem Grunde müssen bei einem elektronischen Stabilitätsprogramm die ESP-Sensoren (Gierratensensor, Querbeschleunigungssensor, Lenkwinkelsensor) ständig überwacht werden. Eine entsprechende Online-Sensorüberwachung hat den Zweck, Fehler in den ESP-Sensoren frühzeitig zu erkennen, damit eine Fehlregelung, die das Fahrzeug in einen sicherheitskritischen Zustand bringen könnte, ausgeschlossen wird.

Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Überwachung von Sensoren der eingangsgenannten Art zu schaffen, das/die eine insbesondere für ein elektronisches Stabilitätsprogramm (ESP) für Fahrzeuge erforderliche Zuverlässigkeit aufweist.

Gelöst wird diese Aufgabe gemäß Anspruch 1 mit einem Verfahren der eingangsgenannten Art, das sich auszeichnet durch eine zyklisch-sequentielle Überwachung des Verlaufes der Ausgangssignale der einzelnen Sensoren mit folgenden Schritten: Erstellen analytischer Redundanzen für eine aktuell zu überwachende Prozeßführungs- oder Prozeßmeßgröße aus aktuell nicht zu überwachenden Prozeßführungs- und/oder Prozeßmeßgrößen eines aktuell betriebenen Prozesses mittels

- 3 -

eines Mehrfachprozeßmodells für einen Normalbetrieb, Erzeugen von Residuen durch Subtraktion der erstellten, redundanten analytischen Redundanzen von der aktuell zu überwachenden Prozeßführungs- oder Prozeßmeßgröße, Auswerten der Residuen mit einer Residuenauswertefunktion und Vergleichen des ausgewerteten Residuums mit einem vorgegebenen Schwellwert und Erzeugen einer Fehlermeldung, wenn das Residuum den Schwellwert für mindestens eine vorbestimmte Überwachungszeit erreicht.

Die Aufgabe wird ferner gemäß Anspruch 9 mit einer Vorrichtung der eingangs genannten Art gelöst, die sich auszeichnet durch eine erste Einrichtung zur Berechnung analytischer Redundanzen für eine aktuell zu überwachende Prozeßführungs- oder Prozeßmeßgröße aus aktuell nicht zu überwachenden Prozeßführungs- und/oder Prozeßmeßgrößen eines aktuell betriebenen Prozesses mittels eines Mehrfachprozeßmodells für einen Normalbetrieb, eine zweite Einrichtung zur Erzeugung von Residuen durch Subtraktion der errechneten, redundanten analytischen Redundanzen von der aktuell zu überwachenden Prozeßführungs- oder Prozeßmeßgröße, eine dritte Einrichtung zur Auswertung der Residuen mit einer Residuenauswertefunktion, eine vierte Einrichtung zur Erzeugung eines Schwellwertes, sowie eine fünfte Einrichtung zum Vergleichen des ausgewerteten Residuums mit dem Schwellwert und zum Erzeugen einer Fehlermeldung, wenn das Residuum den Schwellwert für mindestens eine vorbestimmte Überwachungszeit erreicht.

Die Unteransprüche haben vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung zum Inhalt.

- 4 -

Weitere Einzelheiten, Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der folgenden Beschreibung einer bevorzugten Ausführungsform anhand der Zeichnung. Es zeigt:

Fig. 1 ein Blockschaltbild eines fahrdynamischen Regelsystems;

Fig. 2 eine schematische Darstellung der Struktur eines ESP-Systems;

Fig. 3 das Grundprinzip eines Fehlerdiagnosesystems;

Fig. 4 eine Struktur eines modellgestützten Überwachungssystems für die ESP-Sensoren;

Fig. 5 ein Blockschaltbild einer erfindungsgemäßen Sensorüberwachung;

Fig. 6a, b, c eine Darstellung der Meßergebnisse bei einer Fehlersimulation; und

Fig. 7a, b, c eine Darstellung der Meßergebnisse bei einem Wedelmanöver.

Der Vorgang des Autofahrens kann gemäß Figur 1 im regelungstechnischen Sinne als ein Regelkreis betrachtet werden, bei dem ein Fahrer 1 den Regler und ein Fahrzeug 2 die Regelstrecke darstellt. Die Führungsgrößen sind dabei die persönlichen Fahrwünsche FW des Fahrers, die er durch eine fortlaufende Beobachtung des Straßenverkehrs erstellt. Die

- 5 -

Istwerte IF sind die Momentanwerte für Fahrtrichtung und Geschwindigkeit, die der Fahrer über seine Augen bzw. das Fahrgefühl erfaßt. Die Stellgrößen SF sind schließlich der Lenkradwinkel, die Stellung des Getriebes sowie die Stellungen von Gas- und Bremspedal, die von dem Fahrer aufgrund der Abweichungen zwischen den Soll- und den Istwerten erstellt werden.

Eine derartige Regelung wird häufig durch Störungen S wie Reibwertänderungen, Fahrbahnunebenheiten, Seitenwind oder andere Einflüsse erschwert, da der Fahrer diese nicht präzise erfassen kann, jedoch bei der Regelung berücksichtigen muß. Aus diesem Grunde kann der Fahrer 1 zwar im allgemeinen die ihm übertragenen Aufgaben, nämlich den Prozeß des Autofahrens zu regeln und zu beobachten, in normalen Fahrzuständen aufgrund seiner Ausbildung und der gesammelten Erfahrung ohne Schwierigkeiten bewältigen. In Extremsituationen und / oder bei den genannten außergewöhnlichen Fahrzuständen, bei denen die physikalischen Reibkraftgrenzen zwischen der Fahrbahn und den Reifen überschritten werden, besteht jedoch die Gefahr, daß der Fahrer zu spät oder falsch reagiert und die Kontrolle über sein Fahrzeug verliert.

Um auch diesen Fahrsituationen Rechnung tragen zu können, wird das fahrdynamische Regelsystem mit einem unterlagerten Regelkreis 3 (ESP) ergänzt, der gemäß Figur 1 einen Regelalgorithmus 4, eine Systemüberwachung 5 und einen Fehlerspeicher 6 umfaßt. Gemessene Fahrzustandsgrößen werden dabei der Systemüberwachung 5 und dem Regelalgorithmus 4 zugeführt. Die Systemüberwachung 5 erzeugt ggf. eine Feh-

- 6 -

lermeldung F, die dem Fehlerspeicher 6 und dem Regelalgorithmus 4 zugeführt wird. Der Regelalgorithmus 4 beaufschlagt dann in Abhängigkeit von den vom Fahrer 1 erzeugten Stellgrößen das Fahrzeug 2. Mit diesem Regelkreis werden typische Regelaufgaben ausgeführt. In extremen Fahrsituationen wird das Fahrzeug so schnell wie möglich wieder abgefangen.

Figur 2 zeigt die Struktur eines solchen Regelkreises, der im wesentlichen ein Antiblockiersystem 10, eine Antriebsschlupfregelung 11 und eine Giermomentregelung 12 umfaßt. Weiterhin sind ein Gierratensensor 13, ein Querbeschleunigungssensor 14, ein Lenkwinkelsensor 15, ein Drucksensor 16 und vier Radgeschwindigkeitssensoren 17 vorgesehen, die sowohl als Istwertgeber zur Ermittlung der Regelabweichung, als auch zur Bildung eines Gierratensollwertes und verschiedener Zwischengrößen eingesetzt werden.

Die von dem Fahrer 1 durch Betätigung eines Gas- und Bremspedals sowie des Lenkrades erzeugten Prozeßführungsgrößen werden der Antriebsschlupfregelung 11, dem Antiblockiersystem 10 und dem Drucksensor 16 beziehungsweise dem Lenkwinkelsensor 15 zugefügt. Fahrzeugspezifische Nichtlinearitäten, Schwankungen der Reibwerte, Seitenwind-Einflüsse usw. sind als Störungen oder unbekannte Größen 18 zusammengefaßt und beeinflussen die Fahrzeug-Längs- und Querdynamik 19. Diese Dynamik 19 wird ferner durch die genannten Führungsgrößen sowie die Ausgangssignale einer Motormanagementeinheit 20 beeinflusst und beaufschlagt die Radgeschwindigkeitssensoren 17, den Gierratensensor 13, den Querbeschleunigungssensor 14 sowie den Drucksensor 16. Eine Regelarbi-



- 7 -

tration 21, der die Ausgangssignale des Antiblockiersystems 10, der Antriebsschlupfregelung 11, der Giermomentregelung 12 und eines Bremseneingriffsalgorithmus 22 zugeführt werden, dient zur Prioritätsverteilung dieser Signale im Hinblick auf ihr Einwirken auf die Motormanagementeinheit 20 oder direkt auf die Fahrdynamik 19. Der Bremseneingriffsalgorithmus 22 wird dabei von der Giermomentregelung 12 und dem Drucksensor 16 beaufschlagt. Schließlich ist eine Fahrzustandserkennung 23 vorgesehen, der die Signale des Lenkwinkelsensors 15, des Gierratensensors 13, des Querschleunigungssensors 14 sowie der Radgeschwindigkeitssensoren 17 zugeführt werden und deren Ausgangssignale die Giermomentregelung 12 sowie ein Einspurreferenzmodell 24, mit dem eine gewünschte Soll-Gierrate erzeugt wird, beaufschlagt.

Wie bereits erläutert wurde, kann ein falsches Sensorsignal eine gefährliche unplausible Regelung verursachen. Ein Ausfall des Gierratensensors 13 kann zum Beispiel dazu führen, daß ein Zusatzgiermoment das Fahrzeug plötzlich zur Seite zieht, obwohl der Fahrer geradeaus fahren will. Dies rührt daher, daß während einer Geradeausfahrt der Lenkwinkel und damit der Sollwert der Gierrate gleich Null ist, der Istwert der Gierrate wegen des Sensorausfalls jedoch einen unbestimmten Wert hat, so daß die Giermomentregelung 12 zur Ausregelung dieser Regelabweichung ein Zusatzgiermoment erzeugt. Aus diesem Grund ist eine Online-Überwachung der Sensoren von großer Bedeutung. Diese Überwachung muß einen Sensorausfall so frühzeitig erkennen können, daß das ESP-System rechtzeitig teilweise oder ganz stillgelegt werden kann.

- 8 -

Das erfindungsgemäße Sensorüberwachungskonzept besteht aus einer mehrstufigen Funktionalitätsprüfung der Sensoren, in der zwei Verfahren angewendet werden: Einerseits wird eine elektrische Überwachung durchgeführt, mit der geprüft wird, ob die zu überwachenden Sensorsignale innerhalb ihrer zugelassenen Fehlerbänder liegen. Andererseits wird eine analytisch redundant gestützte Überwachung vorgenommen, mit der die Signale in ihren Gesamtnutzbereichen überwacht werden.

In einer ersten Stufe werden durch die elektrische Überwachung die Sensorversorgungsspannung und die Verkabelung geprüft. In einer zweiten Stufe werden solche Sensoren, die aufgrund ihrer Bedeutung "intelligent" konstruiert sind, laufend durch sich selbst geprüft. Bei einem internen Sensorausfall geht das Sensorsignal in das Fehlerband. Folglich lassen sich solche Sensorfehler auch durch die elektrische Überwachung erfassen.

Mit der elektrischen Überwachung wird dabei ausschließlich geprüft, ob die Sensorsignale in ihren Gültigkeitsbereichen liegen. Eine Erfassung anderer Sensorfehler, wie zum Beispiel eine falsche oder gelockerte Einbaulage, eine Masseunterbrechung ist damit jedoch nicht möglich. Aus diesem Grunde werden in einer dritten Stufe zyklisch-sequentiell die Verläufe der einzelnen Sensorsignale in ihren Nutzbereichen überwacht, und zwar mittels analytischer Redundanzen, die aus den aktuell nicht überwachten Sensor-Ausgangssignalen aufgrund ihrer physikalischen Abhängigkeiten berechnet werden. Hierfür wird ein modellgestütztes ESP-Überwachungs- und Fehlerdiagnosesystem geschaffen, dessen Grundstruktur in Figur 3 dargestellt ist.

- 9 -

Das Fehlerdiagnosesystem 100 besteht im wesentlichen aus zwei Teilen, nämlich einem Residuengenerator 30 und einer Residuenauswerteeinheit 34.

Der Residuengenerator 30 umfaßt eine erste Einrichtung 31 zur Berechnung analytischer Redundanzen aus aktuell nicht zu überwachenden Prozeßführungsgrößen A und/oder den durch einen aktuell betriebenen Prozeß 32 erzeugten und aktuell nicht zu überwachenden Prozeßmeßgrößen B, und zwar für eine aktuell zu überwachende Prozeßführungs- oder Prozeßmeßgröße C unter Anwendung eines Mehrfachprozeßmodells (G1-G4; Q1-Q4; L1-L4, siehe unten) für einen Normalbetrieb. Weiterhin ist eine zweite Einrichtung 33 zur Erzeugung von Residuen r durch Subtraktion der errechneten, redundanten analytischen Redundanzen von der aktuell zu überwachenden Prozeßführungs- oder Prozeßmeßgröße C vorgesehen.

Die Residuenauswerteeinheit 34 umfaßt eine dritte Einrichtung 36 zur Auswertung der Residuen r mit einer Residuenauswertefunktion, sowie eine vierte Einrichtung 35 zur Erzeugung eines Schwellwertes. Dieser Einrichtung 35 werden auch die aktuell nicht zu überwachenden Prozeßführungs- und/oder Prozeßmeßgrößen A, B zugeführt, um den Schwellwert bei einer relativ hohen Ungenauigkeit des Mehrfachprozeßmodells anheben und bei einer relativ geringen Ungenauigkeit des Modells absenken zu können. Schließlich ist eine fünfte Einrichtung 37 zum Vergleichen des ausgewerteten Residuums mit dem Schwellwert und zum Erzeugen einer Fehlermeldung F vorgesehen, wenn das Residuum den Schwellwert für mindestens eine vorbestimmte Überwachungszeit erreicht.

- 10 -

Zur Verdeutlichung der der Erfindung zugrundeliegenden Problematik sowie zum Verständnis der in Figur 3 allgemein dargestellten erfindungsmäßen Lösung sollen zunächst folgende Hintergrundinformationen gegeben werden:

Bei Verwendung nur eines einzigen Prozeßmodells (anstelle eines Mehrfachmodells) zur Residuenerzeugung kann man zwar bereits Informationen über den aktuellen Prozeßzustand und damit auch über mögliche Fehlfunktionen gewinnen. Allerdings hängt die Leistungsfähigkeit sehr stark von der Qualität des angewandten Prozeßmodells ab. Wenn die Ungenauigkeiten des Prozeßmodells steigt, ist es erforderlich, den Schwellwert zu erhöhen, um einen Fehlalarm zu vermeiden. Dies hat dann wiederum zur Folge, daß zahlreiche Fehler unbemerkt bleiben. Versucht man im Gegensatz dazu, die Genauigkeit des Prozeßmodells zu erhöhen, was gleichzeitig eine Steigerung der Modellkomplexität bedeutet, so scheitert man in der Praxis häufig an dem mit der Implementierung des Modells verbundenen hohen Aufwand bei der Online-Berechnung und dem hohen Anspruch an die Entwicklung und Wartung. Folglich spielt ein Kompromiß zwischen der Modellgenauigkeit und der Einstellung der Schwellwerte und damit der Systemempfindlichkeit eine zentrale Rolle bei der Entwicklung eines modellgestützten ESP-Fehlerdiagnosesystems.

Zu berücksichtigen ist dabei auch, daß der Prozeß des Autofahrens bekanntlich in starkem Maße durch viele unbekannte Umgebungsfaktoren geprägt ist. Hinzu kommt noch, daß die Fahrdynamik nur bis zu einem gewissen Grad mathematisch beschrieben werden kann. Andererseits ist die Grenze der Implementierbarkeit von Anfang an durch die Hardware-

- 11 -

Bedingung festgelegt. Alle diese Randbedingungen verlangen einen Lösungsansatz, der zwar auf dem Prinzip der modellgestützten Verfahren basiert, dessen Einsatz jedoch in einem ESP-System gerechtfertigt sein muß.

Die Grundidee der modellgestützten Fehlerdiagnose ist die Prüfung physikalischer Gesetzmäßigkeiten, die in Form eines mathematischen Modells dargestellt sind. Es sei angenommen, daß

$$y = f(u_1, \dots, u_m) \quad [\text{Gl. 1}]$$

eine dieser physikalischen Gesetzmäßigkeiten beschreibt, wobei  $y$  das Ausgangssignal des zu überwachenden Sensors bezeichnet und  $u_1, \dots, u_m$  die bekannten oder gemessenen physikalischen Größen und  $f$  eine mathematische Funktionen darstellt. In diesem Fall wird die analytische Redundanz  $\hat{y}$  aus

$$\hat{y} = f(u_1, \dots, u_m)$$

gebildet und das Residuum  $r$  ergibt sich wie folgt:

$$r = y - \hat{y}$$

Das Residuum ist im fehlerfreien Fall im wesentlichen gleich Null. Wenn ein Sensorfehler auftritt, verliert diese Gesetzmäßigkeiten ihre Gültigkeit, so daß das Residuum signifikant von Null abweicht. Die Schwierigkeit bei der Umsetzung dieser Idee liegt darin, daß das Modell den Prozeß-

- 12 -

ablauf nur teilweise beschreibt. Diese sogenannte Modellungsgenauigkeit läßt sich durch eine Erweiterung des Prozeßmodells zu

$$y = f(u_1, \dots, u_m) + \Delta$$

ausdrücken, wobei  $\Delta$  eine unbekannte Größe ist, die von dem Prozeßzustand abhängig ist. Eine zuverlässige modellgestützte Fehlerdiagnose setzt voraus, daß der Einfluß von  $\Delta$  auf das Residuum  $r$  möglichst gering gehalten wird.

Es gibt prinzipiell zwei Wege, um den Einfluß von  $\Delta$  zu unterdrücken:

- 1.) Erhöhung der Robustheit des Überwachungssystems durch Anwendung moderner robuster Regelungstheorien: dies ist ein passiver Weg, der im allgemeinen einen aufwendigen Entwurf und einen höheren Rechenaufwand (sowohl Off-Line, als auch On-Line) erfordert.
- 2.) Gewinnung zusätzlicher Informationen: dies ist ein aktiver Weg, der sich auf zwei Arten realisieren läßt, und zwar einerseits durch eine Verbesserung des Modells, was eine Gewinnung der Off-Line-Information, jedoch gleichzeitig auch einen zusätzlichen On-Line-Rechenaufwand bedeutet, andererseits durch eine Ausnutzung von zusätzlichen On-Line-Informationen. Dieser Weg hat sich zur erfindungsgemäßen Lösung der genannten Problematik als besonders vorteilhaft erwiesen.

- 13 -

Die Nutzung der zusätzlichen On-Line-Informationen ermöglicht es, für einen zu überwachenden Sensor ein mehrfaches (redundantes) Modell zu bilden und ferner das Verhalten und die Funktionalität dieses Sensors zu rekonstruieren, und zwar anhand der Signale von unterschiedlichen, nicht zu überwachenden Sensoren bzw. Signalquellen. Diese redundante analytische Redundanz erhöht zum einen die Zuverlässigkeit des Überwachungssystems, zum anderen aber auch die Robustheit gegen Modellungenauigkeiten. Im folgenden wird eine bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens vorgestellt, mit dem diese Grundidee umgesetzt werden kann.

Es sei angenommen, daß für das Verhalten eines zu überwachenden Sensorsignals mit folgendem Gleichungssystem

$$y = f_1(u_{11}, \dots, u_{1m}) + \Delta_1, \quad PZ \in GB_1$$

$$\vdots$$

$$y = f_n(u_{n1}, \dots, u_{nm}) + \Delta_n, \quad PZ \in GB_n$$

ein Modell gebildet werden kann, wobei  $u_{ij}$ ,  $i = 1, \dots, n$ ;  $j = 1, \dots, m$  Signale aus unterschiedlichen Quellen bezeichnen und  $f_1, \dots, f_n$  Teilmodelle,  $\Delta_1, \dots, \Delta_n$  Modellungenauigkeiten der einzelnen Teilmodelle,  $PZ$  den Prozeßzustand und  $GB_i$ ,  $i = 1, \dots, n$  den Bereich, in dem das Teilmodell gültig ist, bezeichnen.

Die Gültigkeit und die Modellungenauigkeit der einzelnen Teilmodelle sind von dem Prozeßzustand abhängig. Das Problem besteht nun darin, anhand des Mehrfachmodells ein Re-

- 14 -

siduum zu bilden, das auf der einen Seite für die zu entdeckenden Fehler empfindlich und auf der anderen Seite gegen Modellungenauigkeiten robust ist.

Die Fahrsituationen werden hierzu in zwei Gruppen eingeteilt:

1.) Instationäre Fahrverhalten, bei denen die Modellungenauigkeit stark ausgeprägt ist und nur eine geringe Anzahl von Teilmodellen gültig ist und

2.) Stationäre Fahrverhalten, deren Gemeinsamkeit darin besteht, daß die Mehrzahl von Teilmodellen gültig ist und daß deren Modellungenauigkeit gering ist.

Zu 1.): Instationäres Fahrverhalten: Da der absolute Wert des Residuums als Residuenauswertefunktion verwendet wird, ergibt sich das Residuum  $r$

$$| r | = | y - \hat{y}_i | = | y - f_i (u_{i1}, \dots, u_{im}) |$$

$$= \min_i \{ | y - f_i (u_{i1}, \dots, u_{im}) |, i = 1, \dots, n \} \quad [\text{Gl. 2}]$$

von allen möglichen Residuen am robustesten gegen Modellungenauigkeiten und gleichzeitig auch am unempfindlichsten gegen Fehler. Somit wird für diese Fahrsituation festgelegt:



- 15 -

Wenn die Anzahl der gültigen Teilmodelle deutlich kleiner ist als eine vorgegebene Zahl ( $\ll n$ ), dann wird das Residuum nach dem Prinzip gemäß [Gl. 2] ausgewertet.

Wir nennen diese Regel "minimum of all", deren Grundidee darin besteht, daß im instationären Bereich, wo die Modellungenauigkeit stark ausgeprägt ist, die Robustheit verstärkt gewichtet wird.

Zu 2.): Stationäres Fahrverhalten: Wenn

$$PZ \in GB_1 \cap GB_2 \cap \dots \cap GB_n$$

ist, was bedeutet, daß alle oder fast alle Teilmodelle gültig sind und somit im allgemeinen ein normaler Prozeßzustand gegeben ist, wird das Residuum mit dem nachstehenden Algorithmus ausgewählt:

Schritt 1: Bildung des Mittelwertes  $\bar{y}$

$$\bar{y} = 1 / (n+1) \left( \sum_{i=1}^n \hat{y}_i + \hat{y}_{i+1} \right), \quad \hat{y}_{i+1} = y$$

Schritt 2: Berechnung von  $|\bar{y} - \hat{y}_i|$ ,  $i = 1, \dots, n+1$  und Auswahl von  $\hat{y}_{i1}$ ,  $\hat{y}_{i2}$ ,  $\hat{y}_{i3}$ , welche die geringsten Abweichungen von  $\bar{y}$  aufweisen, d.h.

$$|\bar{y} - \hat{y}_{i1}|, |\bar{y} - \hat{y}_{i2}|, |\bar{y} - \hat{y}_{i3}| < |\bar{y} - \hat{y}_j|, \quad j \neq i_1, i_2, i_3,$$

- 16 -

$$j \in \{1, \dots, n+1\}$$

Schritt 3: Bildung des Residuums  $r$ :

Es sei angenommen, daß  $\hat{y}_{i1} \leq \hat{y}_{i2} \leq \hat{y}_{i3}$  ist, dann gilt

$$r = y - \hat{y}_{i2}$$

Um das Funktionsprinzip dieses Algorithmus zu erläutern, betrachten wir zwei Fälle:

a.) Fehlerfreier Betrieb: in diesem Fall gilt für den "best case":

$$\hat{y}_{i2} = y \Rightarrow r = y - y = 0$$

Dies bedeutet, daß die Modellungenauigkeit keinen Einfluß auf das Residuum hat. Für den "worst case" gilt:

$$y \notin \{ \hat{y}_{i1}, \hat{y}_{i2}, \hat{y}_{i3} \} \Rightarrow r = y - \hat{y}_{i2}$$

Die maximal mögliche Abweichung läßt sich damit gemäß folgender Gleichung

$$|y - \hat{y}_{i2}| = |y - \bar{y} + \bar{y} - \hat{y}_{i2}| \leq |y - \bar{y}| + |\bar{y} - \hat{y}_{i2}| \leq 2 |y - \bar{y}|$$

begrenzen. Da die Bildung des Mittelwertes die Modellungenauigkeit in den meisten Fällen unterdrückt, wird auch die durch die Modellungenauigkeit verursachte Abweichung gering

- 17 -

gehalten.

b.) Sensorfehler: in diesem Fall gilt für den "normal case":

$$y \notin \{ \hat{y}_{11}, \hat{y}_{12}, \hat{y}_{13} \} \Rightarrow r = y - \hat{y}_{12} \neq 0$$

Wegen des Fehlers wird das Sensorsignal  $y$  stark von seinem normalen Wert und damit auch von  $y_{ik}$ ,  $k = 1, 2, 3$  abweichen. Als Folge ist die Differenz zwischen  $y$  und  $y_{12}$  groß. Für den "worst case" gilt:

$$\hat{y}_{12} = y \Rightarrow r = y - y = 0$$

Dies bedeutet, daß der Fehler nicht detektierbar ist. Dieser Fall kann aber nur dann auftreten, wenn die Größe des Fehlers im Bereich der Modellungenauigkeit liegt. Damit wird auch gezeigt, daß die Leistungsgrenze des Überwachungskonzeptes im wesentlichen von der Modellungenauigkeit bestimmt wird.

Wie bereits erläutert wurde, setzt das Konzept der Residuenerzeugung eine Prüfung der Modellgültigkeit voraus. Diese besteht aus einer Prüfung der Zuverlässigkeit der Signale, die zur Residuenerzeugung verwendet werden sollen, sowie einer Prüfung der Modellgültigkeit entsprechend der Fahrsituation.

Ein Signal wird als zuverlässig bezeichnet, wenn es software- oder hardwaremäßig geprüft ist. Die zuverlässigen Si-

- 18 -

gnale können entweder Signale aus den anderen Teilfunktionen des Systems oder Signale aus den anderen Sensoren sein, was eine gegenseitige Überwachung bedeutet. Dies sind die On-Line-Informationen, die zur Bildung des Mehrfachmodells genutzt werden.

Wie bereits gezeigt wurde, hängt das erzeugte Residuum stark von der Modellgenauigkeit ab, die sich wiederum durch unterschiedliche Fahrsituationen beeinflussen läßt. Es ist daher wünschenswert, eine Residuenauswerteeinheit zu entwickeln, die sich adaptiv den Fahrsituationen anpaßt.

Wie allgemein bekannt ist, läßt sich das Fahrverhalten während einer stationären Fahrt sehr genau beschreiben. Im Gegensatz dazu ist ein hochdynamisches Fahrmanöver mathematisch schwer nachzubilden. Es ist daher vorteilhaft, Fahrsituationen von Fall zu Fall zu unterscheiden und auf dieser Basis die Überwachungsschwellen und -zeiten adaptiv einzustellen. Die Anpassung der Überwachungsschwellen soll einerseits dazu führen, daß beim Auftreten eines unplausiblen Sensorsignals eine Fehlermeldung rechtzeitig ausgelöst wird, und andererseits falsche Fehlermeldungen, die aufgrund der Ungenauigkeit der Nachbildung verursacht werden können, verhindert werden. Dies bedeutet, daß in einer Fahrsituation, in der die Genauigkeit der Sensorsignalnachbildung gering ist, die Schwelle hoch und die Überwachungszeit lang eingestellt und im anderen Fall die Schwelle abgesenkt und die Überwachungszeit verkürzt werden muß.

Nachfolgend soll nun die Umsetzung des im letzten Abschnitt vorgestellten Konzeptes zur Überwachung der drei wichtigen

- 19 -

ESP-Sensoren nämlich Gierratensensor, Querb beschleunigungssensor und Lenkradwinkelsensor beschrieben werden.

Figur 4 zeigt die Struktur des modellgestützten Überwachungssystems für die ESP-Sensoren, nämlich einen Gierratensensor 13, einen Querb beschleunigungssensor 14 und einen Lenkwinkelsensor 15. Für die Überwachung jedes ESP-Sensors stehen vier redundante Modelle zur Verfügung, solange diese gültig sind. Dies sind für den Gierratensensor 13 die Modelle G1 bis G4, für den Querb beschleunigungssensor 14 die Modelle Q1 bis Q4 und für den Lenkwinkelsensor 15 die Modelle L1 bis L4. Die mathematische Realisierung der Prozeßmodelle und ihre Gültigkeit ist in Tabelle 1 zusammengefaßt. Die in der Tabelle verwendeten Symbole haben folgende Definition:

$\psi_m$  - Modellgierrate,

$a_{qm}$  - Modellquerbeschleunigung;

$\delta_{l,m}$  - Modellenkradwinkel;

$\dot{\psi}$  - Gierrate;

$a_q$  - Querb beschleunigung;

$\delta_l$  - Lenkradwinkel;

$i_L$  - Lenkübersetzung;

- 20 -

$l$  - Radstand;

$S$  - Spurweite des Fahrzeugs;

$v_{ch}$  - charakteristische Fahrgeschwindigkeit.

Tabelle 1:

Tabelle 1	Gleichungen	Gültigkeitsbedingungen
Modell G1	$\dot{\psi}_m = \frac{v_{vr} - v_{vl}}{S}$	<p>Die vorderen zwei Räder sind nicht in Schlupf,</p> <p>ihre Fehlerflags sind nicht gesetzt und</p> <p>die Nachbildung liegt im gültigen Bereich.</p>
Modell G2	$\dot{\psi}_m = \frac{v_{hr} - v_{hl}}{S}$	<p>Die hinteren zwei Räder sind nicht in Schlupf,</p> <p>ihre Fehlerflags sind nicht gesetzt und</p> <p>die Nachbildung liegt im gültigen Bereich.</p>
Modell		Die Fahrgeschwindigkeit muß gro-

- 21 -

G3	$\dot{\psi}_m = \frac{a_q}{v_{ref}}$	ßer als Null sein.
Modell G4	$\dot{\psi}_m = \frac{\delta_L}{i_l l} \frac{v_{ref}}{(1 + (\frac{v_{ref}}{v_{ch}})^2)}$	keine Gegenlenkung,  keine große Lenkung bei hoher Fahrzeuggeschwindigkeit.
Modell Q1	$a_{q_m} = v_{ref} \frac{v_{vr} - v_{vl}}{S}$	siehe Bedingungen von Modell G1
Modell Q2	$a_{q_m} = v_{ref} \frac{v_{hr} - v_{hl}}{S}$	siehe Bedingungen von Modell G2
Modell Q3	$a_{q_m} = v_{ref} \dot{\psi}$	--
Modell Q4	$a_{q_m} = \frac{\delta_L}{i_l l} \frac{v_{ref}^2}{(1 + (\frac{v_{ref}}{v_{ch}})^2)}$	--
Modell L1	$\delta_{l.m} = \frac{i_l l}{v_{ref}} (1 + (\frac{v_{ref}}{v_{ch}})^2) (\frac{v_{vr} - v_{vl}}{S})$	siehe Bedingungen von Modell G1 und G3
Modell L2	$\delta_{l.m} = \frac{i_l l}{v_{ref}} (1 + (\frac{v_{ref}}{v_{ch}})^2) (\frac{v_{hr} - v_{hl}}{S})$	siehe Bedingungen von Modell G2 und G3
Modell		

- 22 -

L3	$\delta_{L.m} = \frac{i_L l}{v_{ref}} (1 + (\frac{v_{ref}}{v_{ch}})^2) \dot{\psi}$	siehe Bedingungen von Modell G3
Modell L4	$\delta_{L.m} = \frac{i_L l}{v_{ref}^2} (1 + (\frac{v_{ref}}{v_{ch}})^2) a_q$	siehe Bedingungen von Modell G3

Die Modelle sind in die erste Einrichtung 31 implementiert, wobei als Eingangsgrößen zur Errechnung der Redundanzen und somit zur Ermittlung der Residuen folgende Signale eingesetzt werden können:

$v_{vr}$  - Radgeschwindigkeit vorne rechts;

$v_{vl}$  - Radgeschwindigkeit vorne links;

$v_{hr}$  - Radgeschwindigkeit hinten rechts;

$v_{hl}$  - Radgeschwindigkeit hinten links und

$v_{ref}$  - Fahrzeuggeschwindigkeit;

die mit der Teilfunktion des Antiblockiersystems erzeugt werden, sowie die Gierrate, die Querschleunigung und der Lenkwinkel, die von den drei zu überwachenden ESP-Sensoren 13, 14 bzw. 15 stammen. Die errechneten Redundanzen liegen zusammen mit dem jeweils zu überwachenden Sensorsignal an der dritten Einrichtung 36 zur Residuenbildung und -



- 23 -

auswertung (die in dieser Darstellung auch die zweite Einrichtung 33 umfaßt) an. Nach Differenzbildung zwischen dem jeweiligen Residuum und dem durch die vierte Einrichtung 35 erzeugten Schwellwert wird mit der fünften Einrichtung 37 die Fehlermeldung F/UG für den Gierratensensor 13, F/UQ für den Querschleunigungssensor 14 bzw. F/UL für den Lenkwinkelsensor 15 erzeugt, wenn die Differenz einen bestimmten Wert übersteigt. In Figur 4 sind die dritte, vierte und fünfte Einrichtung 36, 35, 37 für jeden Sensor 13, 14, 15 getrennt dargestellt.

Die Prüfung der Signalzuverlässigkeit erfolgt bei den mit dem Antiblockiersystem erzeugten Signalen durch das dort bestehende Überwachungssystem. Tritt keine Fehlermeldung auf, werden die Signale als zuverlässig und bei einer Fehlermeldung als nicht einsetzbar eingestuft.

Im Falle der drei oben genannten ESP-Sensorsignale (Gierrate, Querschleunigung, Lenkwinkel) wird bei dem hier beschriebenen Sensorüberwachungssystem das betreffende Signal als zuverlässig eingestuft, wenn keine Fehlermeldung vorliegt, und das System wird stillgelegt, wenn eine Fehlermeldung auftritt.

Wie oben bereits erwähnt wurde, ist die Methode "Majoritätsprinzip" empfindlich gegenüber einem Sensorfehler, wenn ein Sensor defekt ist, während die Methode "Minimum of all" robuster gegenüber einer Systemstörung und einem instationären bzw. extremen Fahrverhalten ist. Das im letzten Abschnitt vorgestellte Überwachungskonzept wird wie folgt umgesetzt:

- 24 -

Wenn die Anzahl der gültigen Modelle kleiner als drei ist, wird das Residuum nach dem Prinzip "Minimum of all" erzeugt. Andernfalls wird das Residuum nach dem "Majoritätsprinzip" gebildet.

Theoretisch gelten alle diese Prozeßmodelle nur im stationären beziehungsweise linearen Bereich der Fahrdynamik. Wenn die Fahrverhalten nicht mehr in diesem Bereich liegen, müssen sowohl die Überwachungsschwellen erhöht, als auch die Überwachungszeiten verlängert werden. Dies erfolgt durch eine Situationserkennung in der vierten Einrichtung (Schwellwertberechnung) 35 sowie eine Feststellung des Grades der Abweichung des Fahrverhaltens von dem stationären beziehungsweise linearen Bereich (vgl. Figur 4). Die dazu verwendeten Signale sind: die Fahrzeuggeschwindigkeit  $v_{ref}$ , die vier Radgeschwindigkeiten  $v_{vr}$ ,  $v_{vl}$ ,  $v_{hl}$ ,  $v_{hr}$ , die Fahrzeuglängsbeschleunigung  $\ddot{a}_l$ , die ebenfalls aus der Teilfunktion ABS entstanden ist und dort geprüft wird, sowie die errechneten Redundanzen und die anderen ESP-Sensorsignale.

Diese Überwachungsschwellen und -zeiten werden durch Untersuchungen des Fahrzeugverhaltens bei verschiedenen Fehlerarten in verschiedenen Fahrsituationen ermittelt bzw. festgelegt. Bei einer erkannten Änderung des Gierratensensorsignals mit großem Gradienten, die keines der möglichen Fahrmanöver betrifft, wird die Überwachungszeit deutlich verkürzt.

Die Anpassung der Überwachungsschwellen und -zeiten ist in vereinfachter Form in Tabelle 2 zusammengefaßt:

Tabelle 2:

Tabelle 2: Überwachungsschwellen und -zeiten				
Fahrsituation	Genauigkeit der Prozeßmodelle	Überwachungs-schwelle	Überwachungszeit	
			Fehler mit hohem Gradient	sonst
stationäre Fahrten:  Geradeausfahrt und  stationäre Kreisfahrt	sehr genau	klein	sehr kurz	kurz
instationäre Fahrten,  deren Fahrverhalten  in der Nähe vom stationären bzw. linearen	nicht genau	groß	sehr kurz	lang

- 26 -

Bereich liegen, z. B.				
Wechselmanöver				
Fahrverhalten, die  sehr weit vom stationären bzw. linearen Bereich liegen, z. B.  Schleudermanöver	nicht darstellbar	unendlich groß  (keine Überwachung)	unendlich lang  (keine Überwachung)	

Die Struktur der Hardware-Realisierung ist in Figur 5 dargestellt. Diese Struktur umfaßt ein Mikroprozessorsystem 40, dessen Ausgangssignale einer Einheit 41 zum Bremsen- oder Motoreingriff zugeführt wird.

Das Mikroprozessorsystem 40 umfaßt einen Analog/Digital-Wandler 401 zur Wandlung der analogen Sensorsignale und einen daran angeschlossenen digitalen Regelalgorithmus 402, an den ein Digital/Analog-Wandler 403 zur Erzeugung der analogen Ausgangssignale angeschlossen ist. Die digitalen Sensorsignale werden außerdem einem Überwachungssystem 404 zugeführt, an dem auch die von dem digitalen Regelalgorithmus 402 erzeugten Systemgrößen anliegen und das dieser Einheit 402 eine Fehlermeldung übermittelt.

- 27 -

Das ESP-System, das sowohl den digitalen Regelalgorithmus, als auch den Überwachungssystem umfaßt, wird vorzugsweise in C-Sprache programmiert und anschließend auf dem Mikroprozessorsystem 40 implementiert. Die Eingangssignale des Mikroprozessorsystems 40 sind die durch die im Fahrzeug 42 eingebauten Sensoren 43 erzeugten Signale. Die Ausgangssignale des Mikroprozessorsystems 40 sind die Stellgrößen, die zur Steuerung des Bremsen- oder Motormanagementsystems 41 geführt werden. Das Überwachungssystem 404 läuft parallel zu einem Regelsystem, überwacht das Gesamtsystem und beeinflusst daher die Regelung nicht, wenn keine Fehler festgestellt werden. Wenn ein Fehler entdeckt wird, sendet das Überwachungssystem 404 eine Fehlermeldung an den digitalen Regelalgorithmus 402, der damit das ESP-System deaktiviert.

Das Überwachungssystem wurde mit zahlreichen Fahrversuchen getestet. Als Beispiel sind in den Figuren 6a, b, c die Meßergebnisse von zwei Testfahrten gezeigt, und zwar das Ergebnis einer Fehlersimulation des Gierratensensors bei Geradeausfahrt. Figur 6a zeigt das Signal des Gierratensensors (Linie 1) sowie seine vier Nachbildungen (Linien 2 bis 5). Figur 6b zeigt den Verlauf des Residuums (Linie 1) und die Schwelle (Linie 2 und 3). In Figur 6c ist schließlich dargestellt, wann eine Fehlermeldung ausgelöst wird.

Aus diesen Darstellungen wird deutlich, daß die Gierrate sehr genau beschrieben werden kann. Der simulierte Fehler wurde innerhalb von 0,25 Sekunden erkannt, bevor die Giermomentregelung mit hohem Druck auf ein Rad einwirkte.

- 28 -

Die Figuren 7a, b, c zeigen schließlich die Meßergebnisse einer Überwachung des Gierratensensors bei einer Fahrt mit einem Wedelmanöver. Während eines solchen Wedelmanövers kann die Gierrate wegen der Phasenverschiebung zwischen dem Sensorsignal und den Modellsignalen nicht genau beschrieben werden. In diesen Situationen läßt sich eine solche Modellungenauigkeit bei einer Modellbildung generell nicht vermeiden. Um zu verhindern, daß ein falscher Alarm ausgelöst wird, wird deshalb die Überwachungsschwelle schon am Anfang des Wedelns erhöht. Figur 7a zeigt wiederum das Signal des Gierratensensors (Linie 1) sowie seine vier Nachbildungen (Linien 2 bis 5). In Figur 7b sind der Verlauf des Residuums (Linie 1) und die Schwelle (Linie 2 und 3) dargestellt, während sich aus Figur 7c ergibt, daß keine Fehlermeldung ausgelöst wurde.

Insgesamt wird also ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Sensorüberwachung bei einem ESP-System beschrieben, bei dem der Kern in einer mehrfachmodellgestützten Erzeugung von Residuen besteht, deren Entwicklung in erster Linie unter Berücksichtigung der Fahrdynamik und der praktischen Realisierbarkeit und Einsetzbarkeit erfolgt. Mit der Sensorüberwachung können Sensorfehler und insbesondere solche mit großem Gradient während der Fahrt entdeckt werden. Das Überwachungssystem bietet eine hohe Zuverlässigkeit, da es einerseits gegen Modellungenauigkeiten eine hohe Robustheit und andererseits für Sensorfehler eine hohe Empfindlichkeit aufweist.

- 29 -

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Überwachung von Sensoren, die jeweils einzelne Prozeßführungs- oder Prozeßmeßgrößen eines Prozesses erfassen,

**gekennzeichnet** durch eine zyklisch-sequentielle Überwachung des Verlaufes der Ausgangssignale der einzelnen Sensoren mit folgenden Schritten:

Erstellen analytischer Redundanzen ( $\hat{y}$ ) für eine aktuell zu überwachende Prozeßführungs- oder Prozeßmeßgröße (C) aus aktuell nicht zu überwachenden Prozeßführungs- und/oder Prozeßmeßgrößen (A, B) eines aktuell betriebenen Prozesses (32) mittels eines Mehrfachprozeßmodells (31; G1-G4; Q1-Q4; L1-L4) für einen Normalbetrieb,

Erzeugen von Residuen (r) durch Subtraktion der erstellten, redundanten analytischen Redundanzen ( $\hat{y}$ ) von der aktuell zu überwachenden Prozeßführungs- oder Prozeßmeßgröße (C),

Auswerten der Residuen (r) mit einer Residuenauswertefunktion und

Vergleichen des ausgewerteten Residuums mit einem vorgegebenen Schwellwert und Erzeugen einer Fehlermeldung (F), wenn das Residuum den Schwellwert für mindestens eine vorbestimmte Überwachungszeit er-

- 30 -

reicht.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch **gekennzeichnet**, daß der Prozeß ein Teil eines elektronischen Fahrstabilitätsprogramms (ESP) für Fahrzeuge ist und die zu überwachenden Prozeßführungs- und Prozeßmeßgrößen (A, B, C) eine Gierrate, eine Querbesehleunigung und ein Lenkwinkel sind.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch **gekennzeichnet**, daß das Verfahren parallel zu dem elektronischen Fahrstabilitätsprogramms (ESP) abläuft und dieses deaktiviert, wenn die Fehlermeldung (F) erzeugt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch **gekennzeichnet**, daß das Mehrfachprozeßmodell aus einer Mehrzahl von Teilmodellen (G1-G4; Q1-Q4; L1-L4) gebildet wird, mit denen jeweils die zu überwachende Prozeßführungs- oder Prozeßmeßgröße (C) aufgrund von physikalischen Gesetzmäßigkeiten mit Hilfe anderer physikalischer Größen, wie den nicht zu überwachenden Prozeßführungs- oder Prozeßmeßgrößen (A, B), den Rad-drehgeschwindigkeiten ( $v_{vl}$ ,  $v_{vr}$ ,  $v_{hl}$ ,  $v_{hr}$ ), dem Radstand (l), der Spurweite (S) sowie der Geschwindigkeit eines Fahrzeugs ( $v_{ref}$ ), die ebenfalls aus den vier Radgeschwindigkeiten ermittelt wird, rekonstruierbar ist.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Residuenauswertefunktion bei



- 31 -

einem instationären, durch eine starke Modellungenauigkeit geprägten Prozeßzustand durch einen Algorithmus nach einem "Minimum of all"-Prinzip gebildet wird, bei dem das kleinste aller erzeugten Residuen mit dem Schwellwert verglichen wird, und bei einem stationären, durch eine geringe Modellungenauigkeit geprägten Prozeßzustand ein Algorithmus nach einem "Majoritätsprinzip" vorgesehen ist, bei dem ein Mittelwert der analytischen Redundanzen gebildet und zur Erzeugung des mit dem Schwellwert zu vergleichenden Residuums diejenige analytische Redundanz verwendet wird, die die mittlere von drei Redundanzen mit den geringsten Abweichungen vom Mittelwert ist.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch **gekennzeichnet**, daß in dem Fall, in dem die Anzahl der gültigen Modelle kleiner als drei ist, das Residuum nach dem Prinzip "Minimum of all" und andernfalls das Residuum nach dem "Majoritätsprinzip" gebildet wird.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet** durch den Schritt des Berechnens und Anpassens der Schwellwerte in Abhängigkeit von einem Prozeßzustand anhand der nicht zu überwachenden Prozeßführungs- und der Prozeßmeßgrößen (A, B) sowie der Raddrehgeschwindigkeiten ( $v_{vl}$ ,  $v_{vr}$ ,  $v_{hl}$ ,  $v_{hr}$ ) und der Fahrzeuggeschwindigkeit ( $v_{ref}$ ) in der Weise, daß einerseits beim Auftreten eines unplausiblen Sensorsignals rechtzeitig eine Fehlermeldung ausgelöst und andererseits falsche Fehlermeldungen aufgrund einer großen Modellungenauigkeit vermieden werden.

- 32 -

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Überwachungszeiten adaptiv an den aktuellen Prozeßzustand angepaßt und so gewählt werden, daß eine kurzzeitige Störung eines Sensors toleriert wird.

9. Vorrichtung zur Überwachung von Sensoren, die jeweils einzelne Prozeßführungs- oder Prozeßmeßgrößen eines Prozesses erfassen,

**gekennzeichnet** durch eine erste Einrichtung (31) zur Berechnung analytischer Redundanzen für eine aktuell zu überwachende Prozeßführungs- oder Prozeßmeßgröße (C) aus aktuell nicht zu überwachenden Prozeßführungs- und/oder Prozeßmeßgrößen (A, B) eines aktuell betriebenen Prozesses (32) mittels eines Mehrfachprozeßmodells (G1-G4; Q1-Q4; L1-L4) für einen Normalbetrieb,

eine zweite Einrichtung (33) zur Erzeugung von Residuen (r) durch Subtraktion der errechneten, redundanten analytischen Redundanzen von der aktuell zu überwachenden Prozeßführungs- oder Prozeßmeßgröße (C),

eine dritte Einrichtung (36) zur Auswertung der Residuen mit einer Residuenauswertefunktion,

eine vierte Einrichtung (35) zur Erzeugung eines Schwellwertes, sowie

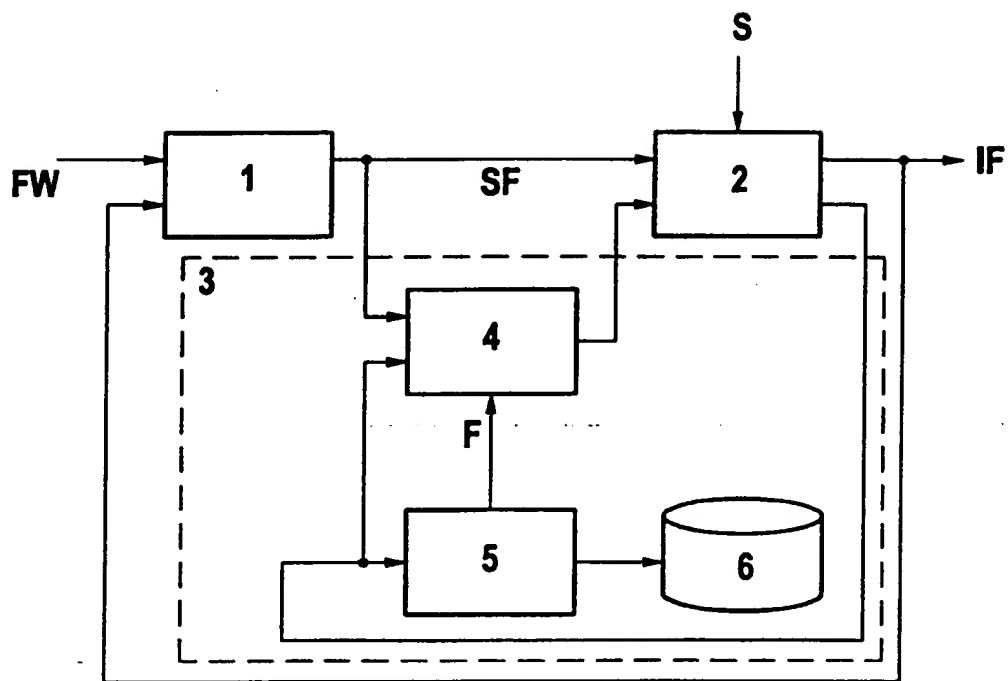
- 33 -

eine fünfte Einrichtung (37) zum Vergleichen des ausgewerteten Residuums (r) mit dem Schwellwert und zum Erzeugen einer Fehlermeldung (F), wenn das Residuum den Schwellwert für mindestens eine vorbestimmte Überwachungszeit erreicht.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch **gekennzeichnet**, daß der vierten Einrichtung (35) die aktuell nicht zu überwachenden Prozeßführungs- und/oder Prozeßmeßgrößen (A, B) zugeführt werden, um mit Hilfe einer Situationserkennung den Schwellwert bei einer relativ hohen Ungenauigkeit des Mehrfachprozeßmodells anzuhohen und bei einer relativ geringen Ungenauigkeit des Mehrfachprozeßmodells abzusenken.
11. Vorrichtung nach Anspruch 9 oder 10, dadurch **gekennzeichnet**, daß die erste bis fünfte Einrichtung durch ein Mikroprozessorsystem (40) realisiert ist.
12. ESP-System für Fahrzeuge, **gekennzeichnet** durch eine Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 11 zur zyklischen Überwachung eines Gierratensensors (13), eines Querschleunigungssensors (14) und eines Lenkwinkelsensors (15).

1/5

Fig. 1



2/5

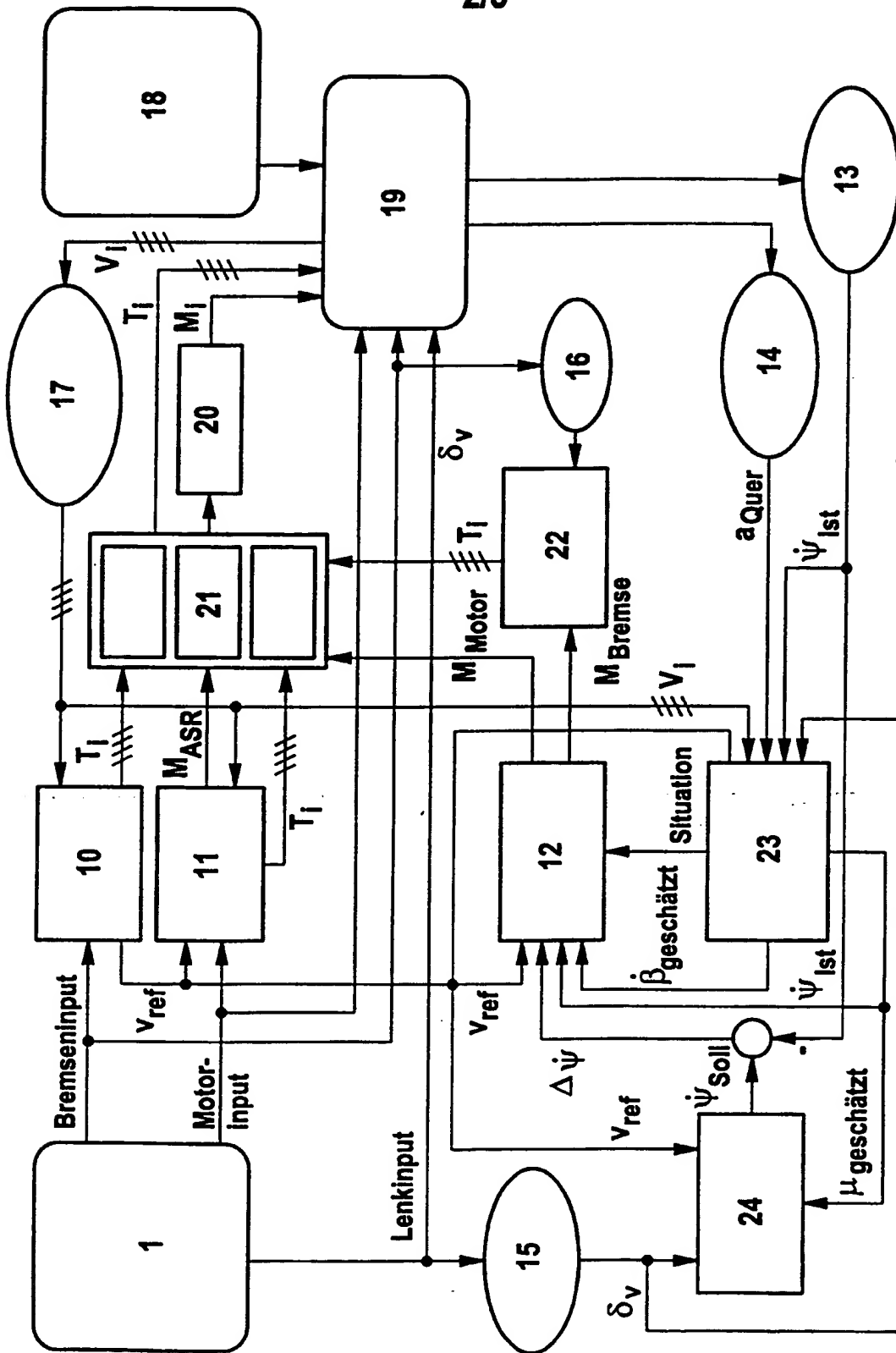


Fig. 2

3/5

Fig. 3

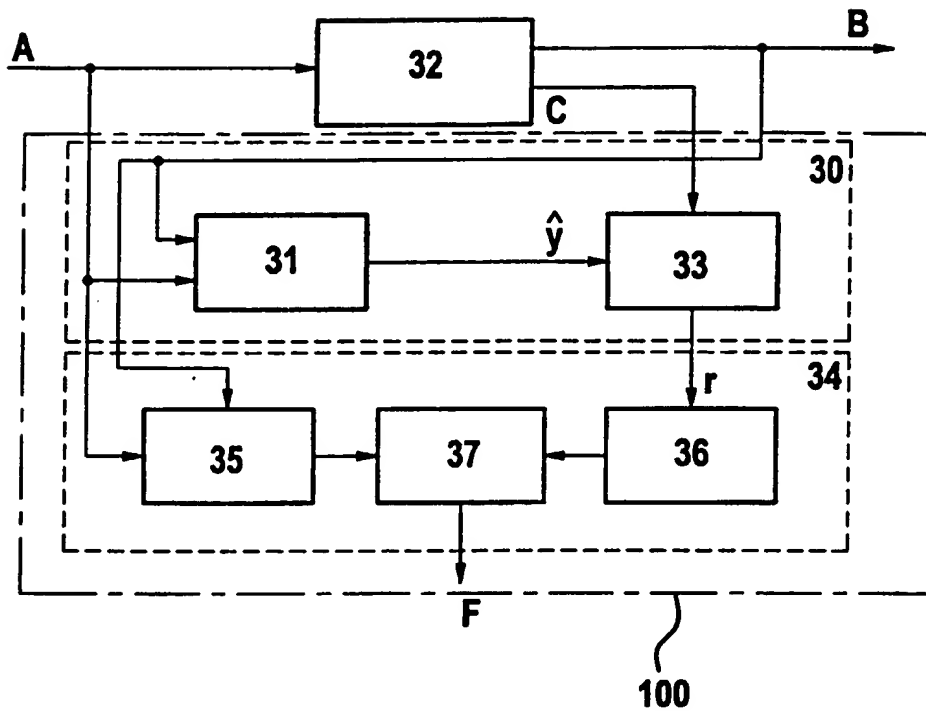
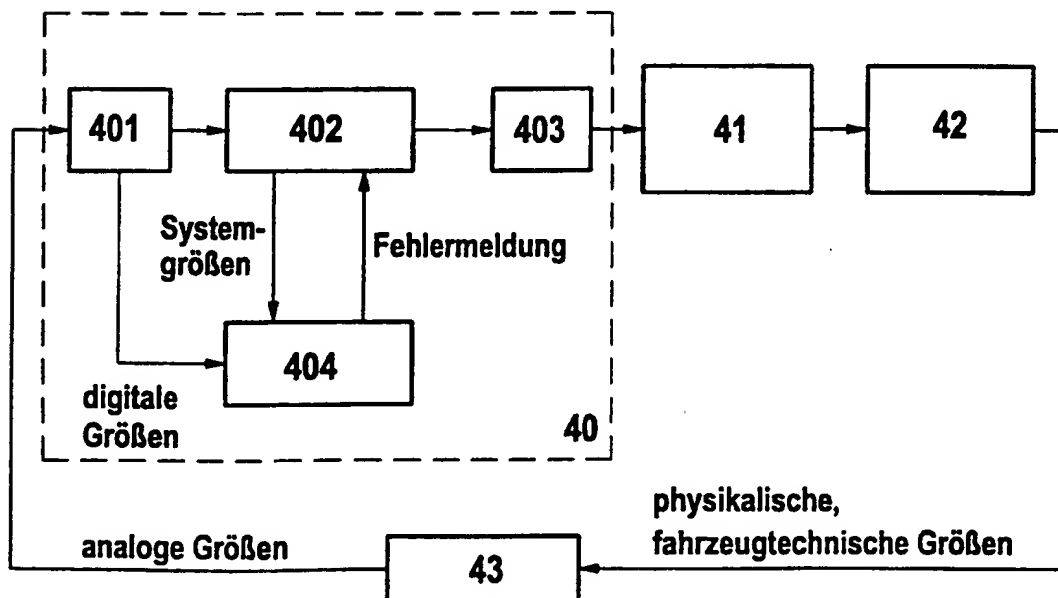
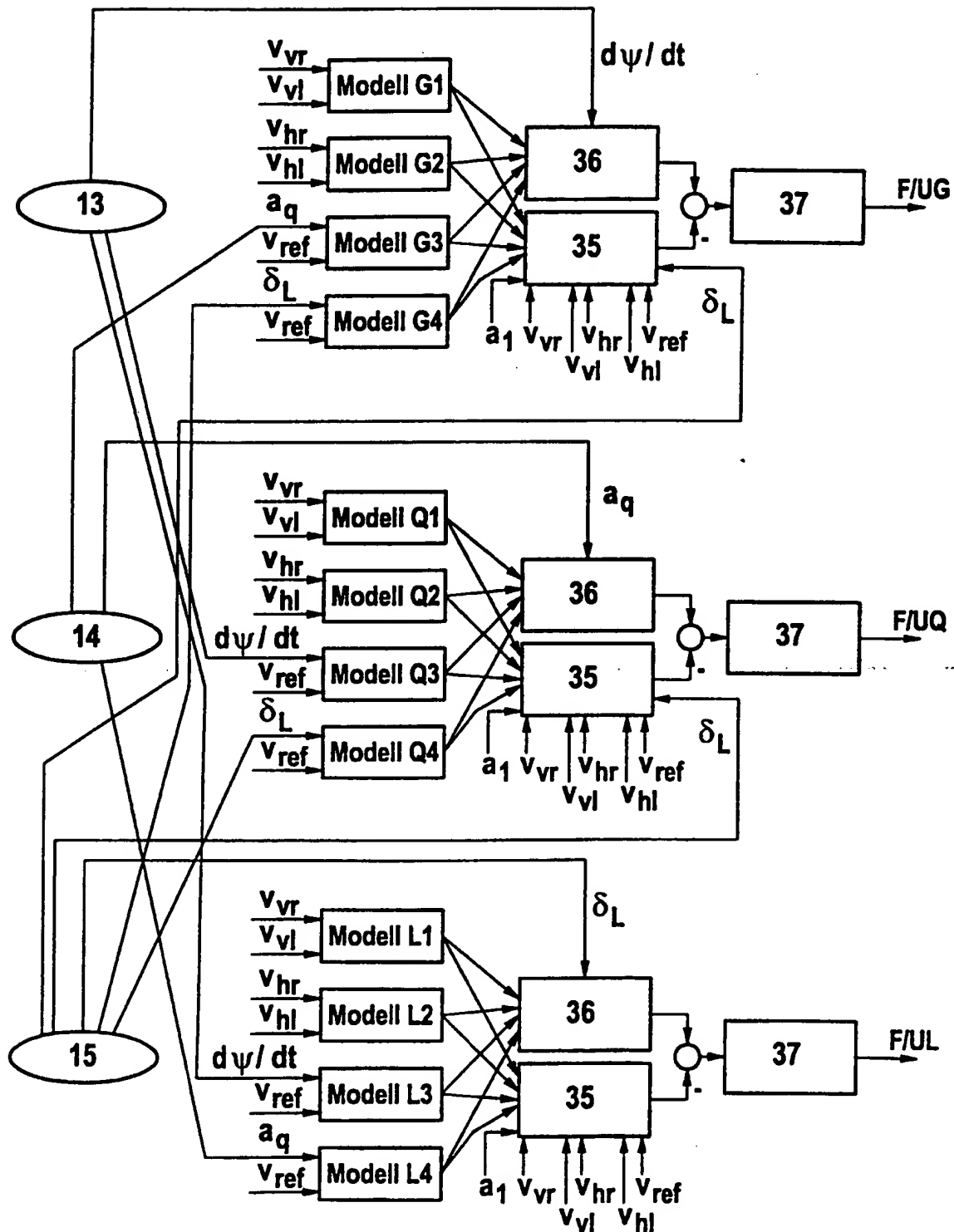


Fig. 5



4/5

Fig. 4



5/5

Fig. 6

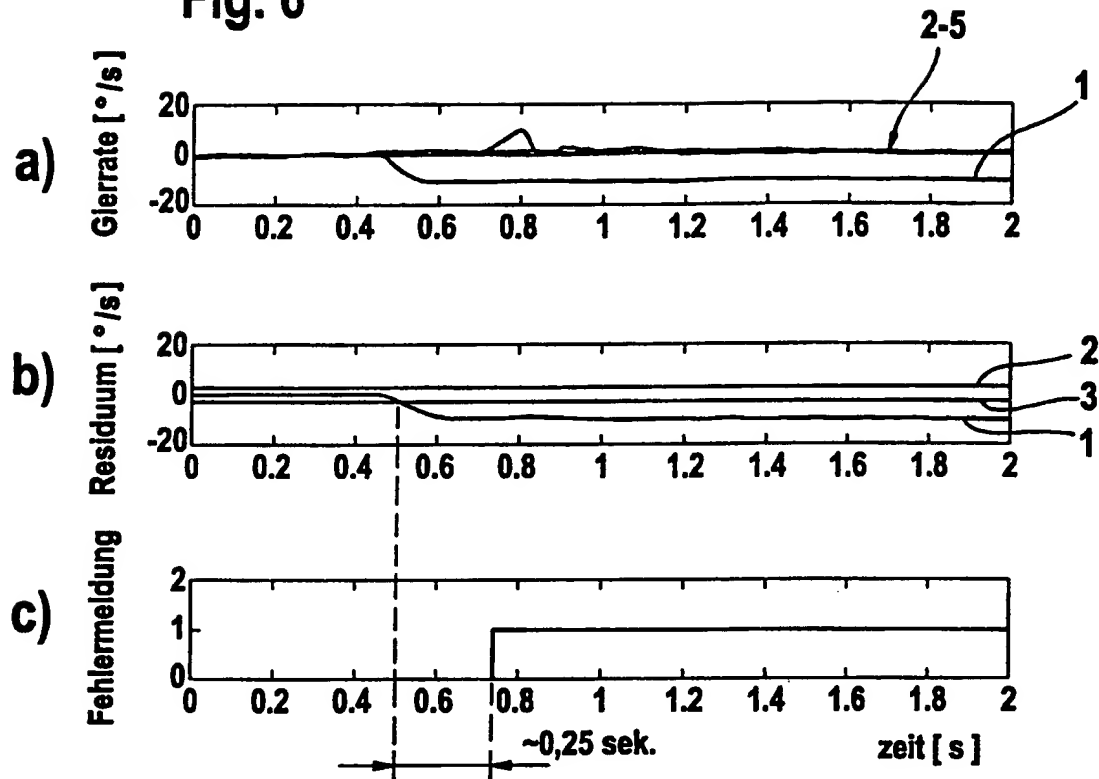
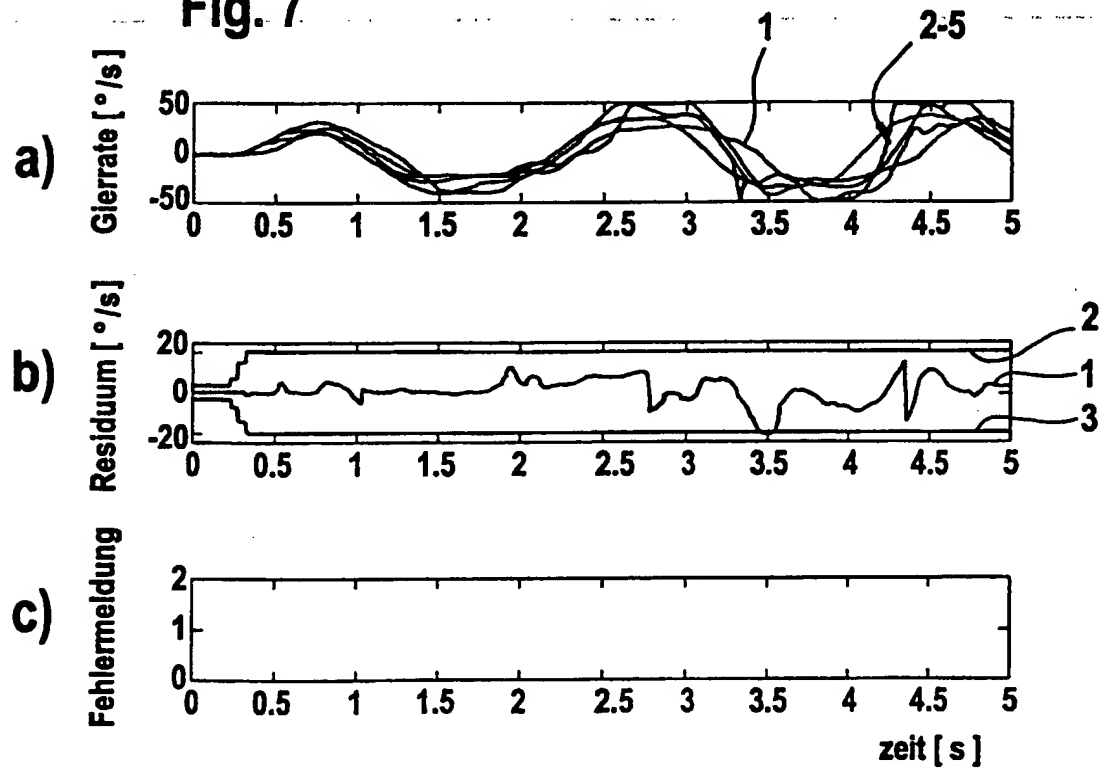


Fig. 7





## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 00/00538

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 B60T8/00 G05B9/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 B60T G05B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DORR R ET AL: "DETECTION, ISOLATION, AND IDENTIFICATION OF SENSOR FAULTS IN NUCLEAR POWER PLANTS" IEEE TRANSACTIONS ON CONTROL SYSTEMS TECHNOLOGY, US, IEEE INC. NEW YORK, vol. 5, no. 1, 1 January 1997 (1997-01-01), pages 42-60, XP000690971 ISSN: 1063-6536	1,9
Y	abstract page 7 -page 9	2,3
Y	US 5.809.444 A (SCHUH JUERGEN ET AL) 15 September 1998 (1998-09-15) abstract	2,3

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"S" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

15 May 2000

Date of mailing of the international search report

23/05/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Gaillard, A

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Intern. Appl. Application No

PCT/EP 00/00538

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5809444 A	15-09-1998	DE 4446582 A	27-06-1996
		FR 2728524 A	28-06-1996
		GB 2296547 A,B	03-07-1996
		JP 8216859 A	27-08-1996

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Intern. Aktenzeichen

PCT/EP 00/00538

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 B60T/00 G05B9/02

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 B60T G05B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DORR R ET AL: "DETECTION, ISOLATION, AND IDENTIFICATION OF SENSOR FAULTS IN NUCLEAR POWER PLANTS" IEEE TRANSACTIONS ON CONTROL SYSTEMS TECHNOLOGY, US, IEEE INC. NEW YORK, Bd. 5, Nr. 1, 1. Januar 1997 (1997-01-01), Seiten 42-60, XP000690971 ISSN: 1063-6536	1,9
Y	Zusammenfassung Seite 7 -Seite 9	2,3
Y	US 5 809 444 A (SCHUH JUERGEN ET AL) 15. September 1998 (1998-09-15) Zusammenfassung	2,3



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"Z" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

15. Mai 2000

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

23/05/2000

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Gaillard, A

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internat. Aktenzeichen

PCT/EP 00/00538

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5809444 A	15-09-1998	DE 4446582 A	27-06-1996
		FR 2728524 A	28-06-1996
		GB 2296547 A,B	03-07-1996
		JP 8216859 A	27-08-1996